8

Ueber

die Bedeutung

der

Kerntheilungsfiguren.

Eine hypothetische Erörterung

von

Dr. Wilhelm Roux,
Privatdocent der Anatomie an der Universität zu Breslau.

COLLEGE OF PHYSICIANS

Leipzig,
Verlag von Wilhelm Engelmann.
1883.

einert
ncer.)
emande
à Paris

Ueber

die Bedeutung

der

Kerntheilungsfiguren.

Eine hypothetische Erörterung

von

Dr. Wilhelm Roux,

Privatdocent der Anatomie an der Universität zu Breslau.

Leipzig,

Verlag von Wilhelm Engelmann.

1883.

Die indirecte Kerntheilung ist jetzt durch die unermüdlichen Untersuchungen vieler ausgezeichneter Forscher als die fast alleinige Form der Kernvermehrung nachgewiesen; und nur in wenigen vereinzelten Fällen haben auch die gegenwärtigen Hilfsmittel das Vorkommen einer einfachen directen Theilung des Zellkernes nicht verneinen können.

Damit ist an die Stelle des so einfachen Remak'schen Schemas der directen Sonderung der Kernmasse in zwei Hälften ein sehr complicirter und in seiner Bedeutung unverständlicher Vorgang als der fast ausschliessliche getreten. Obwohl über manche Einzelheiten dieses Vorganges noch Differenzen der Anschauung bestehen, so treten doch aus den Beobachtungen aller neueren Forscher gewisse Hauptzüge des Geschehens übereinstimmend hervor. Es ist daher wohl nicht mehr verfrüht, nach der Bedeutung dieser gemeinsamen Hauptzüge zu fragen und zu suchen.

Die Frage nach der Bedeutung eines biologischen Vorganges kann in zweifacher Beziehung gestellt werden. Einmal in Beziehung auf die Function desselben für das biologische Gebilde, an welchem er vorkommt, zweitens aber kann die causale Bedeutung, können die Ursachen, denen er seine Entstehung und seinen Fortgang verdankt, Gegenstand unseres Interesses und unserer Forschung sein.

In den folgenden Zeilen wollen wir uns über die erstere Frage einige Aufklärung zu verschaffen suchen; hoffen aber, in kurzer Zeit auch über die zweite Beziehung einige Mittheilungen machen zu können.

Der Vorgang der indirecten Kerntheilung lässt sich nach den jüngsten Untersuchungen Flemmings [1]), Strassburgers [2]) und Pfitzners [3]), sowie nach den zusammenfassenden Werken der beiden ersten Autoren [4]) in seinen Hauptzügen folgendermassen skizziren.

Eine Vermehrung des Chromatins in dem feinen Chromadienfadennetz, welches den ruhenden Kern durchzieht, leitet den Theilungsvorgang ein; der Nucleus geht in diesem Netze auf, das ganze Chromatin ordnet sich zu einem einzigen unverästelten, relativ dicken Faden, welcher seinerseits aus einer einzigen Reihe von Chromatinkugeln hergestellt wird und einen lebhaft in seinen einzelnen Theilen bewegten Knäuel formt. Alsdann Herstellung einiger Ordnung in diesem Knäuel, indem der Faden sich mehr an der Peripherie der Kernhöhle unter Freilassung des Centrums derselben anlagert und gleichzeitig mehr oder weniger regelmässige, annähernd radiär gestellte Schlingen bildet: Kranzform des Chromatinfadens. Im Centrum Auftreten eines Achromatinkörperchens, von welchem Achromatinfäden radiär gegen die centralerseits gelegenen Umbiegungen der Schlingen sich erstrecken. Zertheilung des bisher einheitlichen Chromatinfadens in annähernd gleichlange Segmente. Diese Segmentation kann angeblich auch schon im Stadium der unregelmässigen Knäuelform erfolgen, die Segmente haben annähernd die Länge des Durchmessers der Kernhöhle. Anordnung sämmtlicher Segmente unter winkeliger Biegung derselben, soweit sie dieselbe nicht schon haben, mit der Umbiegung der Schlinge um das Achromatinkörperchen als Centrum und unter radiärer Divergenz der Schenkel: Sternform der Chromatinfigur. Dieser Mutterstern kann räumlich allseitig gleich entwickelt sein oder aber von den beiden Seiten der zukünftigen neuen Zellen her abgeplattet sein und so eine Aequatorialplatte zwischen denselben herstellen.

---

[1]) Archiv f. mikrosk. Anat. Bd. XX.

[2]) l. c. Bd. XXI.

[3]) l. c. Bd. XXII. Heft 4.

[4]) Ed. Strassburger, Zellbildung und Zelltheilung. III. Aufl. Jena 1880. W. Flemming, Zellsubstanz, Kern- und Zelltheilung, Leipzig 1882.

In diesem Stadium, angeblich auch schon im Kranzstadium oder sogar im Knäuelstadium erfolgt eine Längsspaltung der Fadensegmente, welche auf einer Theilung jeder Chromatinkugel in zwei Hälften beruht, so dass aus jeder Kugelreihe zwei nebeneinander liegende Reihen, aus jeder Mutterschlinge also zwei Tochterschlingen hervorgehen.

Ferner Theilung des Achromatin-Körperchens in zwei Theile, welche rasch sich von einander trennen, bis sie in die schon länger vorhandenen beiden Radiationscentren des Zellprotoplasma, in die Centren der künftigen neuen Zellen getreten sind. Die Achromatinfäden, welche von dem Achromatinkörperchen zu den central gelegenen Schlingenumbiegungen gehen, bilden danach zwei konische Fadenspindeln, deren einander der Lage nach entsprechende Fäden sich ineinander fortsetzen. Längs dieser Fäden gleiten die Chromatinschlingen mit ihrer Umbiegungsstelle voran gegen die beiden neuen Polcentren hin.

Auf diesem Wege nach den neuen Centren bietet die Gesammtheit der Schlingen jeder Tochterzelle in Folge ihrer Richtung auf das neue Centrum hin Aehnlichkeit mit einem Stern dar, besonders bei Ansicht längs der Theilungsachse: die Tochtersterne; und indem sich weiterhin die peripheren Enden der Schlingenschenkel untereinander verbinden, entsteht jederseits eine Kranzform: die Tochterkränze. Während weiterer Annäherung gegen das neue Centrum hin verdickt sich der Chromatinfaden und biegt sich unregelmässig, wodurch eine Wiederholung der Knäuelform entsteht, welche das zweite Stadium in der Vorbereitung zur Theilung des Muttersternes darstellte. Danach bildet sich der neue Kern unter weiterer Rückwärtsmetamorphose zur Ruheform zurück.

In den einfachsten bis jetzt beobachteten Vorkommnissen von Pflanzen werden die Segmente des Knäuels als Körner beschrieben, welche eine aequatoriale Platte bilden und sich in Richtung der Platte halbiren. Jede Hälfte eines Kornes gleitet dann längs eines Achromatinfadens demjenigen neuen Zellpole zu, welchem sie von der Theilung her schon zugelegen ist. Von anderer Seite wird indess bestritten, dass Körner die Aequatorialplatte bilden, vielmehr sollen es gleichfalls Fadensegmente, nur aber von sehr grosser Kürze sein, welche ent-

sprechend kurzschenkelige Schlingen bilden und sich später der Länge nach theilen, wie oben geschildert.

Es läuft also bei jeder Kerntheilung ein ungemein reiches Formenspiel ab, und die Mannigfaltigkeit desselben wird noch durch vorkommende Variationen vergrössert. Von letzteren haben wir die angeblichen zeitlichen Variationen des Auftretens der Segmentation sowie der Längstheilung der Chromatinfäden bereits erwähnt; dazu kommt noch ungleiche Länge der Segmente und ungleiche Umknickung derselben zu ungleichschenkeligen Schlingen, vereinzeltes Auftreten von seitlich angefügten Körnern an den normal bloss einreihigen Chromatinfaden u. a..

Wir wünschen nun zu erfahren, wozu dieses ganze weitläufige Formenspiel da ist, welchen Nutzen es für den Endzweck der Theilung des einfachen Kernes in zwei Hälften hat. Da hier ein elementarer Vorgang vorliegt, welchen fast alle Zellen bei ihrer Theilung durchmachen, welcher aber Zeit und Kraft erfordert, so muss er einen sehr evidenten Nutzen haben, um überhaupt durch allmähliche Züchtung entstanden und erhalten worden zu sein. Er muss also in viel höherem Maasse den biologischen Bedürfnissen entsprechen, als der Zeit und Kraft sparende Vorgang der directen Halbirung des Kernes durch Ein- und Abschnürung in der Mitte desselben.

Im Fall der Zweck der Kerntheilung bloss eine einfache Halbirung der Masse des Kerns und die räumliche Trennung beider Hälften von einander wäre, so erhellt, dass der Vorgang der indirecten Kerntheilung einen enormen Umweg für dieses nahe Ziel darstellte, dass er also durchaus unzweckmässig wäre.

Anders wird das Urtheil, wenn das Ziel der Kerntheilung nicht bloss eine beliebige Halbirung der Kernmasse, sondern eine bestimmte Sonderung auch der Qualitäten, welche diese Masse zusammensetzen, ist.

Denken wir uns, es sei ein Gemenge verschiedener Substanzen derartig zu halbiren, dass in jeder Hälfte auch die Hälfte jeder aller vorhandenen Substanzen sich findet. Um diesen Zweck zu erreichen, werden wir das Substanzgemenge möglichst gut umrühren resp. schütteln, bis anzunehmen ist, alle Substanzen seien vollkommen gleich gemischt in der ganzen

Masse vertheilt; halbiren wir jetzt die Masse durch Theilung in der Mitte, so ist der Zweck erreicht. Diese Methode ist sehr einfach; führt aber leider nicht immer zum Ziel; denn sie eignet sich bloss dann, wenn unter übrigens günstigen Umständen von jeder Qualität so viel Substanz vorhanden ist, dass sie gleichmässig in der ganzen übrigen Substanz vertheilt werden kann, und sie wird ausserdem bloss in dem Falle ohne Nachtheil anwendbar sein, wenn eine solche gleichmässige Vermengung aller Bestandtheile untereinander nicht durch gegenseitige Beeinflussung zur Alteration und Decomposition der Qualitäten führt.

Ist aber von jeder Substanz nur so wenig vorhanden, dass sie höchstens selber nur in eine ganz geringe Anzahl gleichartiger Theile theilbar ist, oder wird eine beliebige Vermischung der Qualitäten nicht ohne Alteration derselben vertragen, so wird das Problem der Halbirung der ganzen Masse unter Halbirung der Masse auch jeder einzelnen Qualität ein schwieriges.

Die Aufgabe ist unter diesen Bedingungen um so leichter zu lösen, je kleiner die Masse des ganzen Gebildes und je geringer die Anzahl der der Menge nach zu halbirenden Qualitäten ist, weil in beiden Fällen um so leichter eine gleichartige Mischung herstellbar ist und weil dabei jede Qualität mit immer weniger anderen Qualitäten in Berührung kommt. Beides können wir erreichen, wenn wir die so zu halbirende Masse successive in immer kleinere Stücke zerlegen; dabei bleibt in jedem Stücke bei einander, was zusammenlag, also zusammenpasste; und die Zahl der Qualitäten in jedem einzelnen Stückchen wird mit der Masse des Stückchens zugleich geringer. Wird diese mechanische Zerlegung so weit fortgesetzt, dass eben so viel oder noch mehr Theilstücke als Qualitäten in der ganzen Masse vorhanden sind, und halbiren wir nun genau der Masse nach jedes Stück und legen die eine Hälfte jedes Stückes auf die eine, die andere auf die andere Seite, so wird die Summe aller Stücke der einen Seite nicht bloss an Masse, sondern auch an qualitativer und procentischer Zusammensetzung der der anderen Seite ziemlich vollkommen gleichen. Dieser Zweck wird um so vollkommener erreicht werden, je mehr die Zahl der primären Theilstücke die der Qualitäten

übertrifft und je weniger Theile der einen Qualität zwischen Theile der anderen Qualität vermengt waren. Wenn weiterhin bei der mechanischen Zerlegung der ganzen Masse die Rücksicht beobachtet worden ist, dass diejenigen Theile, welche in der ungetheilten Masse neben einander lagen, auch in den Stücken wieder neben einander zu liegen kommen, so werden auch keine schädlichen Wechselwirkungen der letzteren auf einander eintreten.

Bei dieser Art der Theilung ist aber mehreres von uns unter Leitung des sondernden Verstandes mit der Hand vollzogen werden, was ohne diese nur durch bestimmte mechanische Vorrichtungen erreicht werden kann; dies gilt vornehmlich für die richtige Vertheilung je einer Hälfte der primären Theilstücke auf je eine der beiden Ablagerungsstätten.

Der Act der Zerkleinerung des Materiales muss sich ohne äussere Hilfe von selber vollziehen, sei es durch active Constriction oder durch Dicentration mit vollkommener Anordnung um die Specialcentra oder auf sonst eine Weise.

Die Stücke selber aber müssen von vornherein in bestimmter Weise gelagert werden, um später nach ihrer Halbirung in jeder ihrer Hälften mit Sicherheit an den richtigen Ort dirigirt werden zu können. Am einfachsten wäre für diesen Zweck die Anordnung zu einer einschichtigen Platte, welche ihre beiden Oberflächen den künftigen Aufnahmeorten der Theilproducte zuwendet. Werden dann alle Körner, welche die Platte zusammensetzen, in Richtung der Platte halbirt, so kann es für die richtige Sonderung der Hälften schon genügen, wenn nur immer die Hälften desselben Kornes die Fähigkeit haben, sich gegenseitig abzustossen; denn sie werden alsdann durch diese Abstossung richtig getrennt und tiefer in ihre künftigen Bezirke hineingetrieben werden. Noch sicherer wird dies geschehen, wenn sich in jedem dieser Bezirke ein Attractionscentrum für die Körner vorfindet, welches dieselben activ dem Centrum zuführt.

Sofern aber diese Theilungsvorgänge nicht in absolut ruhiger Umgebung stattfinden, wenn vielmehr von aussen her Erschütterungen, Deformationen einwirken, so wird leicht trotz dieser beiden ordnenden und richtig vertheilenden Kräfte doch noch eine Unordnung vorkommen, welche zu Ueberführung

zweier Hälften desselben Kornes auf dieselbe Seite Veranlassung werden könnte. Dies würde aber trotz solcher störenden Einwirkungen verhindert werden können, wenn Einrichtung getroffen wäre, dass jedes noch ungetheilte Korn schon an zwei von den beiden künftigen Anordnungscentren ausgehende Fäden gelegt ist, so dass auch nach der Theilung sofort jedes Halbirungskorn an einen Faden gelegt ist, an welchem es sicher seinem Ziele zugeführt werden kann, unbeirrt, ob lebhafte Bewegungen in der Umgebung die Theile gegeneinander verschieben, wenn nur die Leitfäden selber nicht zerrissen und nicht von ihrem Centrum losgelöst werden.

So kann durch solche dreifache Vorrichtung die Sicherheit der zweckentsprechenden Führung jedes Halbirungskornes eine sehr grosse und auch gegen äussere Störungen geschützte werden. Sie wird noch etwas verstärkt, wenn immer je zwei zusammengehörige Halbirungskörner auch nach ihrer Trennung von einander noch durch einen Faden verbunden bleiben, weil dadurch die beiderseitigen Leitfadenspindeln zu einem in sich geschlossenen Gebilde vereinigt werden und so eine grössere Stabilität erhalten, welche äusseren, eventuell zu Verwirrung und Abreissung von Fäden führenden Verschiebungen mehr Widerstand entgegen zu setzen vermag.

Diese Einrichtung wird für einfache Verhältnisse ausreichen. So lange nur wenige und relativ grosse Körner die Aequatorialplatte bilden, kann man sich denken, dass die Anordnung der Körner zu einer allenthalben bloss einschichtigen Platte durch Verklebung oder durch Anziehung der Körner untereinander, sofern dieselben polarisirt sind, genügend sicher erhalten werden kann. Schwieriger wird dies sein, wenn die Zahl der zu halbirenden Mutterkörner eine sehr grosse ist, wenn sie selber aber sehr klein sind. Noch schwieriger werden aber die Verhältnisse, wenn die Mutterkörner sich wegen zu grosser Zahl überhaupt nicht in dem für die Aequatorialplatte vorhandenen Raum zu einer einschichtigen Anordnung bringen lassen.

Erörtern wir zunächst den ersteren Fall, in welchem letzteres zwar noch möglich ist, die grosse Zahl und die geringe Kleinheit der Mutterkörner aber bestimmte Sicherungseinrichtungen zur Aufrechterhaltung oder Wiederherstellung der

Ordnung in der Aequatorialplatte, namentlich bei störenden äusseren Einwirkungen nöthig erscheinen lässt. Die Herstellung und Erhaltung der einschichtigen platten Anordnung wird erleichtert scheinen, wenn es nicht dem Zufall überlassen ist, wie die etwa durch eine vorübergehende Kraftwirkung zur Platte angeordneten Körner sich durch gegenseitige Anziehung oder durch Verklebung in dieser Anordnung erhalten, sondern wenn fortwährend straff ordnende Kräfte thätig sind. Da zweierlei Wirkungen hervorzubringen sind, so werden mindestens zweierlei Kräfte nöthig sein: eine Kraft, welche die Einschichtigkeit der Körnerordnung herstellt oder wieder herstellt und eine Kraft, welche die Zusammenfassung zur Platte bewirkt und erhält.

Wir haben uns in dieser Erörterung nicht mit speciellen Ursachen zu befassen, sondern dieselben bloss soweit zu erwägen, um beurtheilen zu können, ob durch dieselben unser Zweck sicher erreicht werden kann. Denken wir uns also bloss, die Körner seien durch eine Kraft fest zu einreihigen Fäden angeordnet; was übrigens leicht von selber geschieht, sobald die Körner polarisirt sind und sofern passive äussere Bewegung nicht fehlt, welche den vereinzelten seitlich sich anfügenden Körnern nachträglich noch Gelegenheit giebt, bei einer Lockerung des Zusammenhangs durch die Biegung in die Reihe sich einzufügen, was man leicht an schwimmenden Kugelmagneten — an entgegengesetzt punktförmig polarisirten Stahlknöpfen — beobachten kann. Diese einreihige Anordnung ist dann eine sehr feste, denn bei äusseren Einwirkungen wird sie sich zwar biegen aber hinterher wieder strecken, da sich die Wirkung der einzelnen Elektromagnete zu einem grossen Stabmagnete summirt, welcher nur im gestreckten Zustand sich im inneren Gleichgewichte befindet. Uebrigens könnte auch diese ursächliche Ableitung umgangen werden, wenn wir uns rein an das Formale halten und die fest formirten Fadenreihen als gegeben betrachten. Fragen wir aber, um uns über die Sicherheit der Einrichtung zu vergewissern, nach solchen garantirenden Kräften, so wird keine bessere Ursache auffindbar sein.

Werden nun diese Fäden durch eine starke Centralkraft zusammengefasst, so ist mit diesen beiderlei Kräften eine sehr

feste Anordnung hergestellt, welcher bloss noch eines fehlt, die Anordnung der Fäden in der Aequatorialebene. Diese kann durch die Art der centralen Zusammenfassung bedingt sein. Die Fäden selber dürfen natürlich nicht länger sein, als dem für die Aequatorialplatte vorhandenen Raum angemessen ist.

Die eine einfache und leicht in Ordnung zu haltende Gliederung der Aequatorialplatte bewirkende Aufreihung der Mutterkörner zu Fäden kann aber noch einen weiteren wesentlichen Nutzen gewähren, sofern sie nämlich bei der Theilung der Körner sich auf die Tochterkörner überträgt, der Art, dass der Mutterfaden sich durch diese Theilung unter Erhaltung der Anordnung der Länge nach in zwei Tochterfäden spaltet. In diesem Falle bedarf zu dem Hinführen der Tochtertheile gegen das neue Centrum statt jedes einzelnen Kornes jetzt bloss noch jeder einzelne, aus Hunderten oder Tausenden von Körnern gebildete Tochterfaden eines Leitfadens. Die Grösse dieses Nutzens ist nicht zu unterschätzen. Denn wenn jedes der Tausende von Körnern eines besonderen Leitfadens bedürfte, so würde, ganz abgesehen von der Neigung zur Verwirrung so vieler Fäden, die grosse Zahl derselben gar nicht von derselben Seite her gegen einen Punkt hin zu convergiren vermögen. Andererseits .auch würde es eine grosse Verschwendung an Leitmaterial darstellen, wenn ein Faden, der die Festigkeit haben soll, verhältnissmässig kräftigen äusseren Tractionen zu widerstehen, selber bloss einer ganz geringfügigen Last zur Fixation zu dienen hätte. Diese Vereinfachung kann noch gesteigert werden, ohne dass ein Nachtheil für die sichere Sonderung der Tochterkörner eintritt, wenn immer zwei benachbarte Mutterfäden am centralen Ende in einander übergehen und sich so zu einer Schleife vereinigen. Die Lösung der Tochterfäden von einander und ihre Ueberführung zu den neuen Centren wird dadurch nicht wesentlich erschwert und das Leitfadenmaterial noch um die Hälfte vermindert. Diese Vereinigung von Fäden darf aber bloss an der Seite sich finden, wo später die trennende Kraft angreift; wäre sie dagegen an der entgegengesetzten Seite, hier also an der Peripherie, so würden später bei der Lösung und Entfernung der Tochterfäden durch einen vom centralen Ende ausgehenden

Zug leicht Verschlingungen und Zerreissungen der Fadenschlingen vorkommen.

So haben wir also die Nothwendigkeit und den Nutzen einer Ordnung der Körner in Fäden und in Fadenschlingen kennen gelernt. Mit dieser zweckmässigen Gliederung aber ist nun, wie sich weiterhin ergiebt, die Nothwendigkeit der Anordnung des Materiales zu einer Aequatorialplatte eine weniger zwingende geworden, denn es erhellt, dass eine Sonderung der centrirten Tochterschleifen, von denen jede in ihrer Mitte durch einen Faden gezogen wird, in Richtung des Zuges fast gleichgut möglich sein wird, sei es, dass die Schenkel der Schlingen alle bloss in einer Aequatorialplatte angeordnet sind oder nach allen Richtungen des Raumes auseinander stehen. Ist also die Zahl der Fäden eine so grosse, dass sie nicht alle, ohne sich zu stören, in einer Aequatorialebene Platz haben, so wird ohne grossen Nachtheil eine Divergenz nach allen Richtungen des Raumes vor sich gehen können. Indessen ein geringer Vortheil für die Leichtigkeit der Trennung der Schlingen nach zwei entgegengesetzten Seiten wird der aequatorialen Anordnung immer gewahrt bleiben.

Die Bildung der Fäden von der nöthigen Länge eines Doppelradius des vorhandenen Raumes kann einzeln vor sich gehen, was aber eine eigenthümliche Vielgliedrigkeit des Geschehens von vornherein voraussetzen würde. Einfacher scheint es, dass zuerst ein einheitlicher Faden für das Ganze entsteht, welcher nachträglich in Stücke von der gehörigen Länge abgegliedert wird.

Findet die Bildung eines einzigen Fadens statt, so muss dieser, da er vielmal länger sein soll, als der Durchmesser des vorhandenen Raumes, sich nothwendig in Windungen legen. Vollkommene Gleichartigkeit der Körnchen in der Grösse der Kugelgestalt und einen gleichartigen Vereinigungsmodus aller Körner vorausgesetzt, giebt es verschiedene annähernde Gleichgewichtsfiguren, in welche der Faden infolge der Raumbeschränkung sich legen kann, je nach den bei der Fadenbildung zufällig mit formbestimmend gewesenen accessorischen Momenten. Der Formen vollkommenen inneren Gleichgewichtes des Fadens würde es nur wenige geben, aber der Widerstand der Suspensionsflüssigkeit und der Mangel vollkommener

äusserer und innerer Ruhe wird die Entstehung derselben unmöglich machen. Der Faden wird sich daher zu einem ziemlich unregelmässigen Knäuel ballen. Beginnt dagegen die später die einzelnen Segmente ordnende Centralkraft schon vor dem Eintritt der Segmentirung zu wirken, und die Centralkraft kann bei der unmagnetischen Natur der organischen Substanz nur eine elektrische sein, so werden die Windungen sich mehr oder weniger radiär mit ihren Schenkeln einstellen und so eine regelmässige Form bilden, welche man anfangs mit einem Kranze, später mit einem Stern vergleichen kann; denn allmählich werden die central gerichteten Umbiegungen infolge der elektrischen Anziehung sich immer mehr dem Centrum nähern, die äusseren Umbiegungen aber, in dem elastischen Bestreben, sich möglichst wenig zu biegen, den Raum immer mehr ausnutzen, also möglichst an die Umgrenzung der Kernhülle gelangen. Wenn nun durch eine centrifugale oder sonst eine Kraft die peripheren Schlingen durchgerissen werden, so ist damit der ganze Fadenstern in zweischenkelige Schleifen von der nöthigen Länge und mit centraler Umbiegungsstelle zerlegt und damit diese wichtige Form hergestellt. Hörte die centrale Kraft jetzt wieder auf zu wirken, noch ehe jede Schleife an einen vom Centrum ausgehenden Faden befestigt ist, so würden die Schleifen durch jede äussere Einwirkung mit Leichtigkeit durcheinander gebracht und beliebig verbogen werden können, und es würde dann den Anschein gewinnen, als ob die Segmentirung in gleich lange Fäden schon im Stadium der Knäuelbildung durch eine wunderbare, die Länge bestimmende innere Eigenschaft stattgefunden hätte.

Unsere hisherige Deduction beabsichtigte, diejenigen Vorgänge und Vorrichtungen kennen zu lernen, welche zu einer auch gegen von aussen kommende geringe Störungen gesicherten Erreichung unseres Zweckes führen konnten. Unser Zweck war die Halbirung eines Substanzgemenges nicht bloss der Totalmasse, sondern auch der Masse jeder einzelnen Qualität nach innerhalb eines abgeschlossenen Raumes und allein durch die Kräfte des in diesem Raume sich befindenden Materiales. Wir haben dabei eine complicirte Anzahl von Vorgängen und Bildungen als unerlässlich nöthig oder als am einfachsten zum

Ziele führend erkannt, welche Zug für Zug übereinstimmen mit den Vorgängen und Bildungen, die als das Typische der Kerntheilung beobachtet und eingangs unserer Erörterung aufgeführt worden sind.

Wenn der von uns behandelte Zweck zugleich derjenige der Kerntheilung wäre, so würden damit alle die wunderbaren Vorgänge der Kerntheilung als durchaus zweckmässig erkannt sein. Umgekehrt, da wir nach unserer gegenwärtigen biologischen Auffassung nicht annehmen dürfen, dass ein so allgemein verbreiteter, so viel Zeit und Kraft kostender und dabei so complicirter und jedenfalls schwierig zu erwerbender Vorgang nutzlos sein könne, ist eine gewisse Wahrscheinlichkeit vorhanden, dass unser Zweck auch der Zweck der Kerntheilung ist. Dies gilt indess bloss, sofern es nicht noch andere Zwecke giebt, welche ganz derselben Vorrichtungen und Vorgänge zu ihrer Erreichung bedürfen. Wenn es deren giebt, so müssen sie jedenfalls dem unsrigen im Wesen verwandt sein; denn ein sehr complicirter Mechanismus, welcher in allen Theilen sich vollkommen zu einer bestimmten Function passend zeigt, wird nicht leicht einer ganz heterogenen Function ebenfalls fähig sein. Es erhellt nun, dass unser Mechanismus ebensowohl wie zur Halbirung der Masse aller Qualitäten auch zu jeder anderen Theilung der Qualitäten die mechanischen Bedingungen darstellt, sei es, dass z. B. möglichst das Ungleiche der Hauptqualitäten sich sondern oder sonst eine mechanische Theilung der Qualitäten nach einem bestimmten Principe durchgeführt werden soll. Immer muss bei jeder Art Qualitätentheilung die ganze Masse vorher in eine von der Zahl der Qualität abhängige Anzahl Theile zerlegt werden, und dann müssen die geeigneten Vorrichtungen getroffen werden, dass nach der Halbirung dieser Muttertheile jeder der beiden Tochtertheile auf die richtige Seite, an den rechten Ort gebracht werden. Nach welchem Princip dabei die Qualitäten selber sich sondern, hängt lediglich von den inneren Vorgängen bei der Halbirung der Mutterkörner ab, welche sich unserer Kenntnissnahme entziehen.

Es ist nicht unwahrscheinlich, dass in der That die Natur dieser Sonderungen eine verschiedene sein kann. Ich habe in diesem Frühjahr durch eine Reihe von Versuchen an Rana

fusca und R. esculenta[1]) nachgewiesen, dass die erste Theilung des befruchteten Froscheies die Richtung der künftigen Medianebene des Embryo bestimmt und das Eimaterial in zwei den beiden symmetrischen Körperhälften entsprechende Theile sondert, eine Beobachtung, welche ich sehr bald noch durch einen Versuch Pflügers[2]) bestätigt fand.[3]) Danach ist zu vermuthen, dass nicht bloss das Material des Eiprotoplasma sondern auch des Kernes in gleiche Qualitäten getheilt wird. Da ich aber weiterhin fand, dass die zweite Theilung bereits das Vorn und Hinten bestimmt, und da die ungleiche Entwickelung des Vorn und Hinten an ungleiches Material geknüpft vorzustellen ist, so wird es wahrscheinlich, dass bei der zweiten Theilung auch das Kernmaterial qualitativ ungleich zerlegt wird.

Nach dieser Erörterung können wir den Zweck der Kerntheilungsfiguren definiren: Die Kerntheilungsfiguren sind Mechanismen, welche es ermöglichen, den Kern nicht bloss seiner Masse sondern auch der Masse und Beschaffenheit seiner einzelnen Qualitäten nach zu theilen. Der wesentliche Kerntheilungsvorgang ist die Theilung der Mutterkörner; alle übrigen Vorgänge haben den Zweck, von den durch diese Theilung entstandenen Tochterkörnern desselben Mutterkornes immer je eines in das Centrum der einen, das andere in das Centrum der anderen Tochterzelle sicher überzuführen. Gegen Ende dieses letzteren Vorganges treten schon eine Reihe von Metamorphosen auf, welche die complicirte Theilungsstructur wieder zurückbilden, und so den Kern zur Annahme der Structur des Ruhezustandes vorbereiten.

---

[1]) Ueber die Zeit der Bestimmung der Hauptrichtungen des Froschembryo. Leipzig 1883.

[2]) Ueber den Einfluss der Schwerkraft auf die Theilung der Zellen und auf die Entwickelung des Embryo. Pflügers Arch. Bd. XXXI.

[3]) Obgleich Pflügers Versuch erst zwei Monate nach dem Beginne und erst nach dem Schlusse meiner Untersuchungen angestellt wurde, so „kann doch an der Unabhängigkeit und Selbstständigkeit seiner Untersuchung kein Zweifel bestehen“, da dieselbe durch Beschleunigung des Druckes bereits am 6. Tage nach dem Versuchsbeginn und drei Tage vor meiner Arbeit veröffentlicht wurde. Vergl. Pflügers Archiv Bd. XXXII, pag. 31.

Solche complicirten zweckmässigen Einrichtungen konnten nicht auf einmal im Organismenreiche auftreten, sondern sie mussten aus einfachsten Anfängen unter stetig steigender Vollkommenheit durch Auslese von vorgekommenen immer günstigeren Variationen innerhalb langer Zeiträume gezüchtet werden. Daher mussten auch die niedrigsten Anfänge schon einen Nutzen gewähren; und aus diesem Grunde ist in obiger Deduction zunächst eine einfachere Einrichtung geschildert worden, welche für den Fall genügend ist, dass der Kern bloss in wenige Theile zerfällt zu werden braucht. Nach dem gegenwärtigen Stande der Beobachtungen hat es aber den Anschein, als wenn so einfache Verhältnisse, wo keine Fadenanordnung der Mutterkörner nöthig ist, nirgends mehr vorkommen. Doch ist wohl erst eine weitere Ausdehnung der Untersuchungen abzuwarten, ehe sich ein definitives Urtheil in dieser Beziehung fällen lässt.

Vergleichen wir unsere Ableitungen specieller mit den Kerntheilungsvorgängen, so beziehen sie sich vorzugsweise auf die Theilung des Chromatins, und dieses beherrscht in der That die Kerntheilungsvorgänge, besonders bei den Thieren. Bei den Pflanzen aber tritt das Achromatin, welches wir nach unserer Deduction nur in der Rolle der Leitfäden kennen gelernt haben, durch grössere Massigkeit hervor.

Es ist daher denkbar, dass die Achromatienfäden nicht bloss für diese Function da sind, sondern dass sie selber werthvolles Kernmaterial darstellen, welches gleichfalls qualitativ getheilt werden soll. Da sie feine Fäden bilden, welche nach der Theilung des Mutterpolcentrum in die beiden Tochterpolcentren sofort doppelseitig sich vorfinden, so ist es wahrscheinlich, dass eine Längstheilung der Fäden stattgefunden hat. Und wenn auch die Bildung eines continuirlichen Fadens nicht ebenso günstig für die Qualitätentheilung ist als eine Aufreihung desselben aus getrennten Kugeln, weil Längsverschiebung der Substanz stattfinden kann, so kann doch dieser Fehler durch die grössere Feinheit des Fadens zum Theil ausgeglichen werden. Immerhin stellt ein dünner Faden eine sehr feine Massenzerkleinerung dar, welche durch Längstheilung des Fadens schon zu einer ziemlich vollkommenen Qualitätensonderung geeignet erscheinen muss. Vielleicht ist

dann auch die Theilung des Polcentrum als eine Theilung in unserem Sinne aufzufassen.

Bei gleichzeitiger Drei- oder Viertheilung eines Kernes kann derselbe Mechanismus sich bethätigen, nur müssen die Mutterkörner sich gleichzeitig in drei oder vier Tochterkörner zertheilen und alle übrigen Einrichtungen gleichzeitig entsprechend vervielfältigt werden.

Der sachkundige Leser wird vielleicht schon länger mir im Geiste zwei Einwände gemacht haben, welche nicht stillschweigend übergangen werden dürfen.

Die Kerntheilung als solche zerfällt nach der entwickelten Auffassung wesentlich in zwei Acte: in die molekulare Theilung, die Theilung der Mutterkörner, welche letzteren erst durch die Vorbereitungsstufe der Materialzerkleinerung herzustellen sind, sofern nicht, wie Pfitzner vermuthet, auch im ruhenden Kern das Material schon in Form kleiner Körnchen vorhanden ist, und zweitens in die Massentheilung, welche den Zweck hat, von je zwei verschwisterten Tochterkörnchen immer je eines auf eine Seite zu schaffen: zugleich dasjenige Moment, welches allein den ganzen Mechanismus der Kerntheilungsfiguren nöthig macht.

Wenn diese Bedeutung der Massentheilung richtig ist, dann muss die Beobachtung erweisen, dass normaler Weise nie demselben Mutterfaden entstammende Tochterfäden auf dieselbe Seite kommen, sondern dass sie stets auf beide Seiten vertheilt werden, denn ohne dies würde das, was nach unserer Meinung der Zweck der ersten, der Molekulartheilung ist, wieder aufgehoben und diese selber demnach überflüssig werden. Strassburger hat bereits in den leichter zu übersehenden Verhältnissen einiger Pflanzen entsprechende Beobachtungen gemacht, und Flemming hat ein Gleiches in den complicirten Verhältnissen des allseitigen Muttersternes der Amphibien vermuthet. So ist wohl Hoffnung, dass es der darauf gerichteten Aufmerksamkeit gelingen wird, dies als das allgemeine Verhalten nachzuweisen.

Die zweite Hypothese, auf welcher unsere ganze Erklärung beruht und mit welcher sie steht und fällt, ist die ungemeine Mannigfaltigkeit des Kernes an Qualitäten, welche wohl bezweifelt werden kann, sofern man bloss das Morpholo-

gische ins Ange fasst und hervorhebt, dass der Kern sich durch unsere gegenwärtigen Färbemittel nur in vier verschiedene Substanzen differenziren lässt, während zugleich das Chromatin, welches gerade der Hauptgegenstand der feinsten Theilung ist, uns vollkommen homogen erscheint. Eine kurze biologische Reflexion über das Wesen des Organischen wird indessen wohl diesen Zweifel beseitigen.

Wer das Leben in seinem Wesen betrachtet, der wird nicht glauben, dass es eine chemische Definition, eine chemische Formel für dasselbe geben könne. Es muss sogar zweifelhaft erscheinen, ob es überhaupt auch nur eine chemische Definition seines Substrates geben könne, denn es ist nicht erwiesen und nicht wohl zu erweisen, dass die wesentlichen Vorgänge, deren Gesammtheit wir als Leben bezeichnen, nicht vielleicht durch ganz verschiedene Substrate vollzogen werden können, dass nicht z. B. die Rolle des Kohlenstoff unter anderen äusseren Umständen durch Silicium vertretbar sei u. dgl. Das Leben ist seinem Wesen nach Process und kann daher nicht statisch definirt werden; sondern nur eine processualische, also functionelle Definition kann dem Wesen des Organischen sich nähern. Wer nun zu den anerkannten minimalen functionellen Vorgängen des Lebens, zu Assimilation, Dissimilation, Ausscheidung und Reflexbewegung mit mir noch die Fähigkeit der Selbstregulation in allen Vorgängen[1]) und die Fähigkeit der Gestaltung aus chemischen Processen (ohne welche letztere schon die Reflexbewegung und die indirecte Kerntheilung nicht möglich wären) für unerlässlich zum Wesen gehörig hält, der wird sich Zellleib und Zellkern als chemisch-physikalische Einrichtungen, als Fabriken von so hoher Complicirtheit vorstellen, dass man sie nicht einfach in der Mitte auseinander schneiden kann, um zwei solche Fabriken zu erhalten. Sondern zu letzterem Zwecke muss von jedem gesondert fungirenden Theile eine Verdoppelung hergestellt werden (vielleicht die Vermehrung des Chromatins vor der Theilung) und diese identischen Theile müssen dann nach den neuen Anlageorten

[1]) Vergl.: Der Kampf der Theile im Organismus. Leipzig 1881. Kapitel V: Ueber das Wesen des Organischen.

translocirt und entsprechend mit den zugehörigen Theilen vereinigt werden.

Die scheinbare Homogeneïtät der ganzen Chromatinmasse, sowie des Protoplasma wird denjenigen nicht täuschen, der sich vergegenwärtigt, dass wir das Molekulargeschehen der Zelle nur wie eine grosse Fabrik aus einem in den höchsten Regionen schwebenden Luftballon betrachten, dass die Durchmesser der Vorgänge millionenmal kleiner sind als die Entfernung, aus der wir sie besichtigen, und dass uns daher das Verschiedenste als homogen erscheinen kann. Scheint doch schon eine lebende Qualle mit ihren reich gegliederten Organsystemen dem naiven Beobachter als eine homogene schleimartige Masse; und stehen wir nicht dem Molekulargeschehen fast noch mehr als bloss naiv gegenüber?

Es muss aus den complicirten Verrichtungen des scheinbar homogenen organischen Substrates mit Sicherheit eine complicirte Structur gefolgert werden.

Mit der Erkenntniss des nothwendigen Vorhandenseins solcher nicht sichtbaren und nicht sichtbar zu machenden, bloss zu erschliessenden Structur, welche ich in einer besonderen Abhandlung über diesen Gegenstand als „Metastructur“ bezeichnen werde, muss unsere Hypothese von der complicirten Zusammensetzung des Chromatins wesentlich an Wahrscheinlichkeit gewinnen. Und der Umstand, dass für die Kerntheilung so complicirte Einrichtungen zur qualitativen Theilung getroffen sind, welche für den Zellleib fehlen, lässt dann rückwärts schliessen, dass der Zellleib in viel höherem Maasse durch Wiederholung gleich beschaffener Theile gebildet wird als der Kern; und daraus folgt, dass für die Entwickelung des Embryo, sowie vielleicht auch für das Regenerationsvermögen der niederen Thiere der Kern wichtiger ist als der Zellleib, eine Folgerung, welche in vollkommener Uebereinstimmung mit den neueren Ergebnissen über den Vorgang der Befruchtung steht.

Breslau, den 26. August 1883.

Druck von Grass, Barth & Comp. (W. Friedrich) in Breslau.

Druck von Grass, Barth & Comp. (W. Friedrich) in Breslau.